

УДК 004.89

ЗАЙЧЕНКО Ю.П.,  
БАСАРАБ А.В.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ АНАЛОГОВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИРЖЕВЫХ ИНДЕКСОВ

Предложено применение методов комплексирования аналогов, контроллера Мамдани для анализа и прогнозирования биржевых индексов и курсов акций. Разработано программное обеспечение, реализующее данные методы, а также метод экспоненциального сглаживания, используемый для сравнения производительности и качества прогноза. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность методов. Приводятся рекомендации по применению методов для прогнозирования различных выборок.

Method of analog complexity and Mamdani Controller application to loan indexes forecasting was proposed. Application software which implements these methods was built. In advance, Exponential smooth is used in order to compare these methods. Experiments shows good quality and applicability of these methods. Recommendation concerning usage of these methods are added.

### 1. Постановка задачи

Первый фондовый индекс в США был рассчитан Чарльзом Доу в 1884 году.

Идеальный фондовый индекс должен отвечать определенным критериям, оправдывающим ожиданиям пользователей [1].

В целом, поскольку фондовые индексы аккумулируют в себе стоимость акций компаний, входящих в него, то изменение индекса также может быть описано как случайный временной процесс.

Со времени появления математических методов оценки и прогнозирования временных процессов а также оценки стоимости акций существует разделение основных методов анализа на фундаментальный и технический [2].

На данный момент, продолжают развиваться как фундаментальные так и технические методы анализа. В техническом анализе используются как графические так и математические методы [1].

Недостатками графических методов с использованием только классических фигур является размытость критериев построения той или иной фигуры. Также, классические методы довольно хаотичны, субъективны и не прослеживаются строгой системы [3]. Дополнительным недостатком является необходимость человека строить графики.

Большинство используемых математических методов технического анализа [1] используют довольно простой математический аппарат, как правило сводящийся к исследо-

ванию экспоненциального сглаживания или разницы между начальной и конечной ценами акций за определенный период, например, за день. В силу простоты эти методы обладают как преимуществами так и недостатками. Преимущества – простота. Недостатки – тоже простота прогноза и, как следствие, неточность расчета.

В данной статье рассматриваются некоторые математические методы технического анализа.

### 2. Выделение не решенных ранее частей проблемы

В рассмотренной ранее литературе [1,2,3] не предоставляется рекомендаций по применению и сравнительных характеристик Методов комплексирования аналогов, Нечеткого контроллера Мамдани и Экспоненциального сглаживания для задач прогнозирования финансовых индексов и цен акций. Метод комплексирования аналогов в постановке, описанной в литературе [4] не применим для анализа и прогнозирования финансовых индексов.

Исследования методов на основе нечеткой логики для прогнозирования финансовых индексов не сравнивает методы на основе нечеткой логики совместно с Методом экспоненциального сглаживания и Методом комплексирования аналогов и сравнительный анализ эффективности данных методов на одной и той же выборке не проводился.

### 3. Цель данной статьи

Выбор наиболее оптимального метода из Метода на основе нечеткого контроллера Мамдани, Метода комплексирования аналогов и Экспоненциального сглаживания для прогнозирования биржевых индексов. Критический анализ этих методов для прогнозирования биржевых индексов. Рекомендации по применению Методов комплексирования аналогов и Методов на основе контроллера Мамдани.

### 4. Методы расчета

Для прогнозирования биржевых индексов использовались методы: Комплексирования аналогов, Экспоненциального сглаживания, Метод на основе нечеткой логики - контроллер Мамдани.

#### 4.1 Метод комплексирования аналогов

Идея метода комплексирования аналогов заключается в поиске нескольких аналогов к прогнозируемому процессу в исторической выборке. После нахождения аналогов строится прогноз на их основе. Различные вариации метода заключаются в разных методах выбора аналогов, а также методах построения прогноза на их основе.

Метод используется для прогнозирования многомерных случайных процессов

$$x(t) = [x_j(t)]_{j=1,m}, t = 0, 1, \dots, T \quad (1)$$

заданных в виде матрицы наблюдений

$$X = \| X_{ij} \| \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  – признаки процесса.

Для решения задачи прогнозирования повторяющихся случайных событий необходимо кроме матрицы  $X$  задать также матрицу векторов выходных величин  $Y$ . Для этой задачи важно, чтобы были коррелированы столбцы выборки  $X$  и выборки  $Y$ . Корреляция между строками выборки обычно отсутствует.

Для правильного прогноза событий необходима полнота и представительность выборок  $X$  и  $Y$  [4].

Недостатком является и то что ширина паттерна не подлежит изменению и равняется одной строке исходной выборки. Прогноз строится на один шаг вперед.

В экспериментах в качестве обучающей и прогнозной выборок использовались биржевые индексы, которые представляют собой

одномерный случайный временной процесс. В этом случае, применение Метода комплексирования аналогов не возможно в постановке, описанной в литературе [4].

Было предложена модификация метода комплексирования аналогов.

Основные отличия –

- в качестве паттерна рассматривался участок временного ряда, а не строка.
- ширина паттерна – произвольна.

В качестве меры близости использовалась евклидова метрика

$$d(Ai, B) = \| x_{Ai} - xB \| \quad (3)$$

После нахождения нескольких аналогов строился прогноз на их основе. При построении прогнозных величин учитывалось временное расстояние от прогнозной даты, то есть более «старые» данные имели меньшее влияние на прогноз чем более «новые» данные. Для этого, были введены веса аналогов, при этом, вес аналога был обратно пропорциональным расстоянию по времени между аналогом и прогнозируемой выборкой.

#### Преимущества предложенного метода комплексирования аналогов

Паттерн произвольной длины позволяет обучать систему и строить прогноз на основе повторяющихся событий, например, волн на бирже, что, аналогично классическим методам технического анализа. Тем не менее, в отличие от классических методов, система не использует стандартный набор фигур а самостоятельно подбирает их на этапе обучения. На большой исторической выборке система может обнаружить закономерности лучше чем эксперт, использующий классические методы. На этапе обучения находится несколько аналогов. Далее, прогноз строится на основе нескольких аналогов.

Можно строить прогноз не на 1 а на несколько шагов, что полностью отвечает требованиям, предъявляемым к современным системам прогнозирования, и расширяет сферу практического применения метода.

Не было необходимости строить корреляционную матрицу.

#### Метод экспоненциального сглаживания

Для анализа и сравнения методов использовался метод экспоненциального сглаживания. Сглаживание – это способ, обеспечива-

ющий быстрое реагирование вашего прогноза на все события, происходящие в течение периода протяженности базовой линии.

Основная идея применения метода сглаживания состоит в том, что каждый новый прогноз получается посредством перемещения предыдущего прогноза в направлении, которое дало бы лучшие результаты по сравнению со старым прогнозом. Метод широко описан в литературе [1].

Метод экспоненциального сглаживания применяется в связи с его простотой и в тоже время, хорошими прогнозными показателями. Соотношение усилия/качество прогноза являются неременным преимуществом данного метода.

#### 4.3 Методы на основе нечеткой логики

Другим методом сравнения являлся метод на основе нечеткой логики. Контроллер Мамдани – широко известный метод нечеткой логики.

Объединение нечеткого контроллера и нейронной сети позволяет увеличить преимущества и избежать недостатков. Такой подход использует нейронную сеть для оптимизации конечных показателей обычного нейронного контроллера или для удаления правил.

Основной особенностью методов на основе нечеткой логики является их способность принимать неточные или зашумленные сигналы и строить точный прогноз на их основании.

Методы на основе нечеткой логики применяются для прогнозирования различных случайных процессов, например [5] или для задач извлечения данных Data Mining [6].

Было предложено применение данного метода для анализа и прогнозирования биржевых индексов.

#### 5. Эксперименты

Была разработана система для анализа и прогнозирования биржевых индексов которая реализовывает алгоритмы экспоненциального сглаживания, комплексирования аналогов и контроллер с нечетким выводом Мамдани.

Для построения прогноза была выбрана выборка индекса Dow Jones за 322 рабочих дня.

Временной процесс можно представить в виде:

$$f(x) = f_1(x) + f_2(x) + \dots + a(x) \quad (4)$$

где  $f_n(x)$  – функция, сумма которых влияет на индекс,  $a(x)$  – случайный «шум».

**Таблица 1. Пример выборки Dow Jones за 322 рабочих дня**

№	Значение Индекса
1	235,776,756
2	235,879,175
3	235,366,594
4	235,360,467
5	234,971,401
.....	.....

Средняя ошибка

Коэффициент Тейла

Прогноз строился на 4, 6, 8 и 10 шагов. При построении прогноза, прогнозные значения сравнивались с реальными показателями индекса и точность прогноза сравнивалась по коэффициентам:

Среднепроцентная ошибка

Среднеквадратическая ошибка

Результаты прогноза на 4 шага представлен в таблице 2. В столбцах – коэффициенты, в строчках – метод прогнозирования.

**Таблица 2. Прогноз индекса Dow Jones на 4 шага**

	Среднепроцентная ошибка	Среднеквадратическая ошибка	Средняя ошибка	Коэффициент Тейла
Экспоненциальное сглаживание	0,90287	29,210	0,00902	0,009174

Комплексирование аналогов	1,03942	33,441	0,01039	0,009765
Нечеткий контроллер	0,54163	18,539	0,00541	0,006051

Прогноз на 6 шагов представлен в таблице

3. В столбцах – коэффициенты, в строчках – метод прогнозирования.

**Таблица 3. Прогноз индекса Dow Jones на 6 шагов**

	Средне процентная ошибка	Среднеквадратическая ошибка	Средняя ошибка	Коэффициент Тейла
Экспоненциальное сглаживание	0,71819	24,555	0,00718	0,00725
Комплексирование аналогов	1,25623	43,646	0,01256	0,0131
Нечеткий контроллер	0,77629	27,635	0,00776	0,00896

Прогноз на 8 шагов представлен в таблице

4. В столбцах – коэффициенты, в строчках – метод прогнозирования.

**Таблица 4. Прогноз индекса Dow Jones на 8 шагов**

	Средне процентная ошибка	Среднеквадратическая ошибка	Средняя ошибка	Коэффициент Тейла
Экспоненциальное сглаживание	0,8824	29,7671	0,00882	0,00897
Комплексирование аналогов	0,6435	23,7698	0,00643	0,00733
Нечеткий контроллер	0,33772	11,7573	0,00337	0,00384

Дополнительно проводились эксперименты по прогнозированию курсов валют и индекса РТС данными методами. Обучающая выборка индекса РТС составляла 1500 значений. Результаты подтверждают полученные результаты при прогнозировании индекса Dow Jones.

## 6. Выводы

Как видно из таблиц 2-4, прогноз индекса Dow Jones наиболее точен при прогнозировании с помощью нечеткого контроллера Мамдани, что показывает перспективность применения метода для подобного рода задач. При применении данных методов для анализа и прогнозирования различных типов выборок: курсов валют, а также индекса РТС оказалось, что с увеличением размера выборки точность прогноза методом комплексирования аналогов возрастает. Это объясняется тем, что Метод комплексирования аналогов зависит от полноты выборки. Большая обучающая выборка резко увеличивает качество обучения метода, и таким образом влия-

ет на прогноз. В большинстве случаев, прогноз Методом экспоненциального сглаживания демонстрировал большие среднеквадратические ошибки по сравнению с другими методами.

При увеличении количества шагов, на которые строится прогноз, ошибка увеличивается незначительно, что свидетельствует о высоком качестве прогноза. При построении прогноза на 6 шагов, ошибка незначительно уменьшилась, по сравнению с прогнозом на 4 шага. В данном случае, это скорее, благоприятное совпадение чем закономерность. При большом количестве испытаний системы на нескольких выборках ошибка увеличивалась с увеличением количества шагов, на которые строился прогноз. Увеличение ошибки всегда было умеренным, среднепроцентная ошибка была меньше 2%, что свидетельствует о высоком качестве прогноза.

Низкое значение коэффициента Тейла свидетельствует о высокой корреляции прогноза и реальных значений индекса.

### 7. Заключение

Из приведенных экспериментов следует, что качество прогноза рассмотренных методов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к системам, работающим на бирже. Программное обеспечение, которое реализует Методы комплексирования аналогов, Методы нечеткой логики на основе контроллера Мамдани рекомендуется применять для анализа и прогнозирования курсов акций и курсов валют. Эксперименты по сравнению данных методов с Методом экс-

поненциального сглаживания и с результатами игры биржевых игроков продемонстрировали и доказали высокую эффективность методов для анализа и прогнозирования курсов акций. При анализе большой исторической выборки, рекомендуется использовать Метод комплексирования аналогов, для анализа относительно небольших выборок рекомендуется использовать Методы на основе нечеткой логики, например, на основе Контроллера Мамдани.

### Список литературы

1. Технический анализ с и его применение на примере данных полученных с Московской фондовой биржи. <<http://referat.niv.ru/referat/031/03100016.htm>>
2. Хаертфельдер, Лозовская, Хануш. Фундаментальный и технический анализ рынка ценных бумаг.: Питер, 2004. – 352с.
3. Аппель Дж. Эффективные инвестиции. Как зарабатывать на росте и падении акций, инфляции, скачках цен на нефть... и не только / Дж. Аппель; пер. В.А. Кукушкиной. - СПб.: Питер, 2009. - 416 с.
4. Зайченко Ю.П. Основы проектування інтелектуальних систем: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: Вид. Дім “Слово”, 2004. – 352 с.
5. Голубева Е.Н., Васенёв Н.Ф., Гусева Е.Е., Королева Н.В., Галаншина Е.А. Исследование моделированного узла дискретизации на пневмомеханической прядаильной машине < <http://www.igta.ru/files/konferencia/progress/2002/progress2002.pdf>>.
6. Чернов И.А. Автоматизированное извлечение знаний из баз данных. < <http://masters.donntu.edu.ua/2006/fvti/ichernov/diss/index.htm> >

Поступила в редакцию 14.12.2009